ISSN 1561-5359. Штучний інтелект, 2017, № 1

УДК 621.865.8

В.Н. Шуть
Брестский государственный технический университет, Беларусь
ул. Московская, 267, г. Брест, 224017

РОБОТИЗИРОВАННЫЙ МЕТРОПОЛИТЕН ЩЕЛЕВОГО ТИПА «КРОТОВЫЕ НОРЫ»

V.N. Shuts
Brest State Technical University, Belarus
267, Moskovskaya st., Brest, 224017

ROBOTIC METRO-SLIT TYPE “MOLEHILLS”

Метрополитен щелевого типа «Кротовые норы» является новым видом городского транспорта. Это полностью автоматическая, интеллектуальная роботизированная транспортная система городской перевозки пассажиров нового типа. *Технические характеристики, которыми он обладает, недоступны ни одному виду городского пассажирского транспорта, известного на сегодняшний день.*

Ключевые слова: метро, дорожное движение, адаптивное управление, пассажиропоток, интеллектуальная транспортная система.

Metropolitan slit type “Moleholes” is a new type of urban transport. This is a fully automatic, intelligent robotic transportation system for urban transportation of passengers of a new type. *Technical characteristics, which he possesses, are inaccessible to any kind of urban passenger transport, known to date.*

Key words: metro, road traffic, adaptive control, passenger traffic, intelligent transport system.

Введение

Во многих странах Европы и в некоторых республиках экс-СССР скоростные трамваи (Stadtbahn) выполняют функцию своеобразного наземного метро: они недороги в эксплуатации, передвигаются со скоростью (от 25 и до35 км/ч), экологичны, надежны и комфортабельны, не мешают другим видам наземного транспорта. Строительство путей для них на два порядка ниже строительства метро (так стоимость 1 км. метро составляет от 40 до 60 млн. долларов) [1]. Чтобы скоростной трамвай был по-настоящему скоростным, необходимо менять организацию движения: предоставлять ему приоритет проезда перекрестков, зажигать для него зеленый сигнал светофора раньше. И, конечно, желательно пускать его по выделенным линиям, отделенным от проезжей части улицы мини-заборчиками.

Но скоростной трамвай не дотягивает до метро по провозной способности в 3-4 раза. Повысить провозную способность этого типа транспорта возможно за счет увеличения скорости его движения (к примеру, в метро скорость движения составляет 35-40 км/ч.). Помимо этого, необходимо увеличить количество составов, что ведет к увеличению числа водителей. Причем это увеличение должно быть очень существенным, учитывая, что объем вагонов трамвая намного меньше вагонов метро. Поэтому скоростной трамвай уступает существенно метро по основной характеристике (провозной способности или производительности).

Таким образом, в городах с высокой численностью населения (свыше 1 млн.) нет альтернативного транспорта, способного конкурировать с метро по провозной способности. Какие бы хорошие условия для движения скоростного трамвая не были бы созданы, всё равно число помех движению в улично-дорожной сети (УДС) города остается довольно большим. В то время как при движении под землей такие помехи отсутствуют, и вагоны подземных поездов движутся беспрепятственно. Необходимость метро для любого крупного города очевидна, но оно должно быть дешевым.

Современное состояние информационно-коммуникационных технологий позволяет на базе мобильных автономных роботов построить дешевую подземную транспортную систему (при полном отсутствии в ней человека) высокой производительности, достигающей производительности современного метро, надежной и безопасной. Именно информационную систему, в которой транспортное средство является лишь элементом системы и может функционировать только в её составе, в отличие от известных транспортных средств, таких как автобус, троллейбус, трамвай, поезд метро, которые функционируют автономно.

Концепция метро щелевого типа

Таким образом, основными недостатками современного метрополитена являются:
- высокая стоимость строительства;
- низкая скорость строительства (300-350 м в месяц); отсюда длительные, до 10 лет, сроки строительства;
- наличие эскалаторов, связанное с большой глубиной залегания линий метро;
- высокие энергозатраты на перевозку;
- недостаточная адаптивность к пассажиропотоку: так, в вечерние часы вагоны идут либо полупустые, либо с большим интервалом движения;
- большие дистанции между остановками метро (1.5-2 км.), в то время как у наземных видов транспорта 0.3-0.5 км.

Все указанные выше недостатки современного метрополитена устранены в метро щелевого типа «Кротовые норы». Теперь большинство городов, и не только миллионников, могут иметь метро, так как стоимость его на два порядка ниже традиционного метро, а скорость строительства в три раза быстрее (до 1000 м в месяц).

Это совершенно новый тип полностью автоматического подземного городского общественного транспорта (метро) на базе беспилотных электрокаров (инфобусов) вместимостью до 50 человек, курсирующих в узких тоннелях неглубокого заложения и обслуживающих пассажиров по требованию.

Данный тип транспорта высокопроизводителен (не уступает традиционному метро), безопасен, энергоэкономичен, значительно более дешев в сравнении с традиционным метро, имеет более высокую транспортную доступность. Данный тип транспорта является транспортом по запросу, т.е. адаптирован к любому пассажиропотоку (большому, среднему, низкому). Время ожидания пассажиром транспорта минимально и составляет 20 секунд. При этом пассажирам предоставляется возможность движения из пункта А в пункт В без остановок.

Метрополитен щелевого типа «Кротовые норы» является новым видом городского транспорта. Это полностью автоматическая, интеллектуальная роботизированная транспортная система городской перевозки пассажиров нового типа. *Технические характеристики, которыми он обладает, недоступны ни одному виду городского пассажирского транспорта, известного на сегодняшний день.*

В отличие от традиционного метрополитена, вагоны которого имеют большую вместимость (250-300), данный тип транспорта имеет небольшой объем (до 50 пассажиров) вагона-робота (беспилотного) и ширину вагона всего один метр, что позволило решить три задачи:
- обеспечить минимальную ширину ствола тоннеля для движения беспилотных вагонов-роботов, что ведет к снижению стоимости строительства на два порядка за счет сокращения объема железобетонных конструкций и работ, и перевод их в область готовых конструкций заводского панельного исполнения. Последнее ускоряет сроки строительства метро на порядок;

- создать транспорт адаптивный к пассажиропотоку. В режиме реального времени идет мониторинг числа прибывающих пассажиров на станции метрополитена и, в зависимости от их количества, на линию выходит требуемое для их обслуживания число вагонов-роботов;
-предоставить пассажирам транспортную услугу преимущественного проезда без промежуточных, либо с минимальным числом, остановок от пункта отправления до пункта назначения. Этим экономится не только время пассажира на поездку, но и удельные электрозатраты на провоз одного пассажира сокращаются в несколько раз.

Описание конструкции метро щелевого типа

Для строительства метрополитена щелевого типа «Кротовые норы» не нужны большие котлованы с огромным использованием железобетонных работ (строительство открытым способом) или трудоемкие тоннели при строительстве закрытым способом.

Строительство выполняется следующим образом. В городе выбирается магистраль с большим пассажиропотоком. Обычно такая магистраль имеет от трех до пяти полос шириной по 3-4 метра по каждому направлению движения. От разделительной линии магистрали отделяется по полосе слева и справа, т.е. от каждого направления движения изымается по полосе. Таким образом, формируется зона строительства шириной до 6 метров. По разделительной линии роется траншея шириной 1.5м (0.75м слева и 0.75м справа от разделительной линии) и глубиной 3 метра вдоль всей магистрали, в которую, по мере частичного прорытия траншеи, вставляются готовые железобетонные конструкции, изготовленные в заводских условиях, и сборные рельсовые конструкции с междурельсовой шириной 1м (ширина инфобуса).

Магистраль при проведении работ не закрывается и полосы движения вне зоны строительства функционируют в обычном режиме. Единственным неудобством является некоторое снижение пропускной способности магистрали.

Либо возможен вариант работы в ночное время. Тогда магистраль на ночное время закрывается, а утром открывается по всем полосам движения. Таким образом, строительство метро щелевого типа не сказывается на функционировании города. В то время как при традиционном строительстве метро в г. Минске проспект Независимости был закрыт для движения транспорта на 8 лет.

Устройство ствола тоннеля под разделительной линией магистрали гарантирует отсутствие подземных инженерных коммуникаций, что значительно снижает стоимость строительства в сравнении с традиционным метро, в стоимости строительства которого до 20% могут достигать работы по переносу коммуникаций.

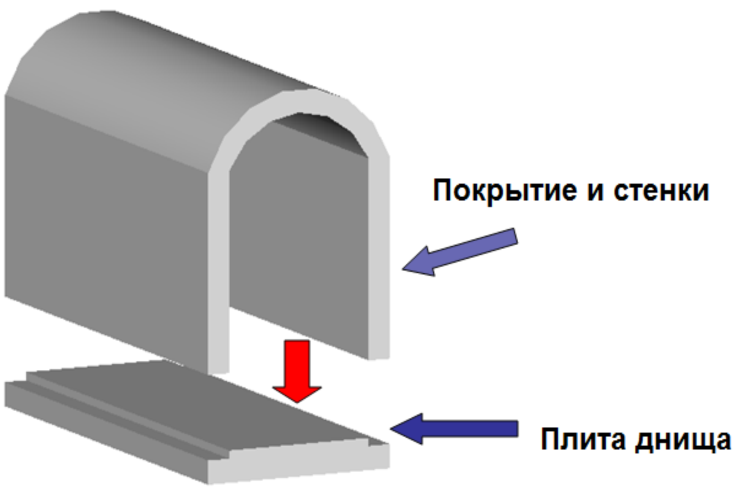


Рис.1 Сборные элементы для устройства метро

Рассмотрим некоторые строительные конструкции. Следует отметить, что конструктивные решения для таких видов транспорта, в свою очередь, должны обладать низкими показателями стоимости и трудозатрат по сравнению с существующими решениями метро. Так как данные конструкции проектируются из условия небольшого заглубления, отпадает вопрос необходимости проведения глубоких геологических исследований, а также устройства котлованов, что ведёт к существенному снижению сроков строительства.

Соответствующим выбором конструктивного решения, применяемых материалов и назначения наиболее рациональных сечений и пролётов элементов можно также существенно повысить скорость строительства, уйти от сложных систем опалубки (в отличие от применяемого монолитного варианта) и тем самым снизить стоимость строительства.

Предлагаемый вариант щелевого метро, выполняемый в сборном (из отдельных модульных секций) варианте, обладает всеми вышеперечисленными достоинствами. В качестве конструктивного решения щелевого метро типа «кротовые норы» выбран сборный вариант. Это позволяет существенно увеличить скорость строительства при имеющейся заводской линии, настроенной на производство отдельных секций.

К основным сборным элементам можно отнести ***элемент, объединяющий покрытие и стенки*** и ***плиту днища***, в которой изначально закладываются элементы для устройства путей для инфобуса (рис.1).

Выполняя покрытие и стенки как единый элемент, сокращается количество стыков сборной конструкции и повышается темп монтажа. Назначение размеров элементов производится исходя из размеров инфобуса. Для выполнения криволинейных участков наиболее рациональным можно назначить длину секции 6 м. На линейных участках длина секции может быть увеличена.

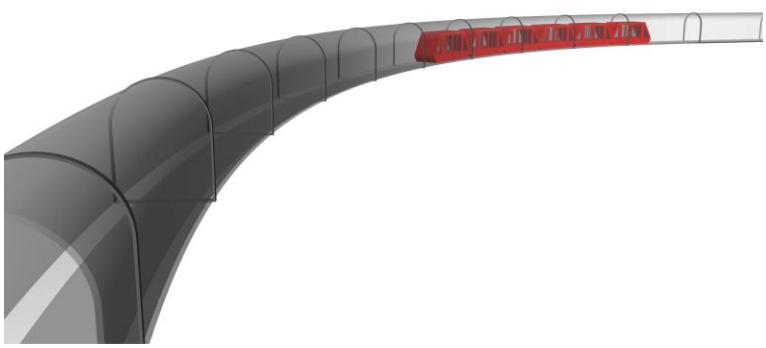


Рис.2 Тоннель с кассетой из 6 инфобусов во время движения

Расстояния между станциями не более 500 метров (в обычном метро это 1500 и более метров). В результате транспортная доступность для пассажиров такого вида метро выше, и меньше потребуется наземного транспорта для связи между станциями метро.

Средняя скорость традиционного метро составляет 35-40 км/час. Щелевое метро будет иметь среднюю скорость 100 км/час (рис.2), так как инфобус не делает

промежуточных остановок, и все пассажиры одной станции назначения едут без остановки. Это стало возможным благодаря развитой системе предварительного сбора информации о пассажирах, т.е. пассажирский поток сразу при проходе через турникеты дифференцируется по станции назначения и инфобусы формируются пассажирами одной станции.

Управления движением инфобусов

Система функционирует при полном отсутствии управления со стороны человека и является принципиально новым видом общественного транспорта на базе мобильных автономных электрокаров (беспилотных). Другое название беспилотных автономных электрокаров – инфобус. Введение такого названия оправдано тем, что предлагаемый тип транспорта является системой, в которой информационные процессы (сбор информации, обработка информации, принятие решений) носят коренной, основополагающий характер, выполняются постоянно и составляют основу информационной транспортной системы. Нарушение любого из этих процессов делает систему неработоспособной. Единичным транспортным средством системы является инфобус. В отличие от известных транспортных пассажирских средств (автобус, троллейбус, трамвай и т.д.), которые работают автономно, инфобус может функционировать только в составе информационной транспортной системы со своими разветвленными алгоритмами и программами управления. Инфобус жестко вмонтирован в интеллектуальную транспортную систему и является одним из её элементов [2].

В дальнейшем, для удобства описания системы управления движением инфобусов в щелевом метро «Кротовые норы», будем пользоваться понятием *«Кассетная роботизированная городская транспортная система массовой конвейерной перевозки пассажиров».* Это специально разработанная система управления со многими функциями, которые отсутствуют во всех традиционных видах городского транспорта, таких как автобус, троллейбус, трамвай и метро. Система управления универсальная и может быть использована как для подземного транспорта, так и для наземного.

Кассетная роботизированная городская транспортная система массовой конвейерной перевозки пассажиров состоит из выделенного узкого пути (рельсовый, либо монорельс), как наземного, так и подземного вариантов, остановочных пунктов посадки и высадки пассажиров, снабженных турникетами, беспилотных автономных электрокаров (инфобусов) емкостью в 50 пассажиров (рис.3). Каждый инфобус оборудован компьютером, связанным с сервером системы, команды с которого он отрабатывает полностью автономно под управлением собственного компьютера. Инфобусы базируются в накопителях 1 и 2, расположенных в конечных пунктах маршрута (рис.3). В них выполняется подзарядка инфобусов и оттуда они выдвигаются на маршрут.

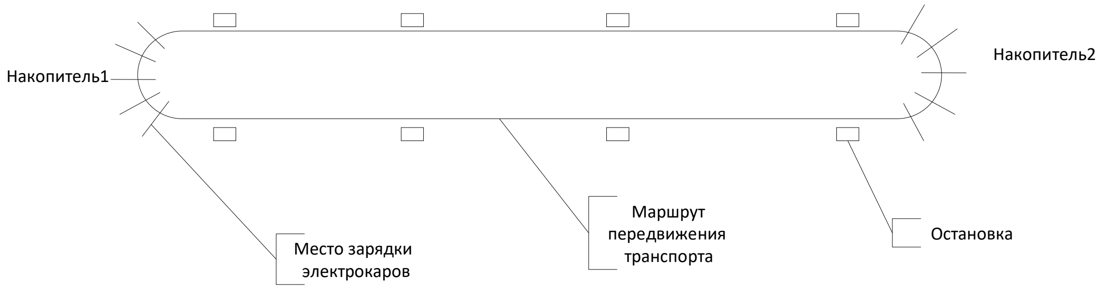


Рис.3 Схема базирования и маршрут движения электрокаров

Система работает. Кассетная роботизированная городская транспортная система массовой конвейерной перевозки пассажиров в исходном состоянии находится в «спящем» режиме и активизируется в момент появления пассажиров на станции (остановке). Пассажир, проходя через турникет, оплачивает проезд и одновременно указывает свою станцию назначения. Эти сведения поступают на сервер системы, где формируется матрица корреспонденций по данной остановке [3-6]. На основе данных со всех остановок, строится матрица корреспонденций M поездок пассажиров.

Данный транспорт называется кассетным, так как инфобусы собираются в виртуальные кассеты от одного и до шести электрокаров для организации автопоезда. Здесь используется известный принцип автокараванинга, основанный Еврокомиссией в сентябре 2009 года в проекте Safe Road Trains for the Environment (SARTRE), который позволяет нескольким машинам двигаться по дороге в организованной колонне [7].

Выводы

Предложен новый тип городского общественного транспорта – метро щелевого типа. Дешевый, энергоэкономичный, способный перевозить большое число пассажиров, сравнимый с традиционным метрополитеном. Этот вид транспорта является полностью автоматическим. Впервые для городского общественного транспорта применяется такая опция как безостановочный проезд пассажира от пункта отправления до пункта назначения.

Может использоваться и как отдельный, самостоятельный городской транспортный кластер, и как дополнение к существующему метрополитену для его разгрузки. Так, московский метрополитен, перевозящий в год 2,4 млрд. пассажиров, работает в условиях значительной перегрузки. Причина – несоответствие развития инфраструктуры потребностям мегаполиса. В настоящее время общая протяженность линий – 305,6 км, а протяженность перегруженных участков – 125 км, т. е. 41% от общей длины линий. Метро щелевого типа имеет суммарную глубину от поверхности 4 метра и поэтому может строиться по тем же трассам, что и основное метро, не задевая его.

Дешевизна и быстрота строительства позволяют иметь такой транспорт не только большим городам, но и областным центрам с населением свыше 300 тыс. человек. В качестве городского транспортного кластера им можно покрыть напряженные магистрали города с интенсивным движением общественного транспорта (автобусы, троллейбусы, трамваи). С улично-дорожной сети города уйдет общественный транспорт, освободив пространство для личного транспорта.

Литература

1. Стоимость сооружения 1 км метро в Минске составляет от 40 до 60 млн долларов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://minsknews.by/blog/2014/08/19/stoimost-sooruzheniya-1-km-metro-v-minske-sostavlyaet-ot-40-do-60-mln-dollarov/
2. Shuts V., Kasyanik V. Mobile Autonomous robots – a new type of city public transport. // Transport and Telecommunication. – 2011. – V. 12, No 4. – P. 52-60.
3. Пролиско Е.Е., Шуть В.Н. Высокопроизводительный вид городского пассажирского транспорта на базе современных информационных технологий / Сб. научн. трудов по мат. Междунар. заочной научно-практич конф. «Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика», Воронеж, 2016 г. – Воронеж : «ВГЛТУ», 2016, т. 4, № 5, ч. 3 – С. 336-341.
4. Пролиско Е.Е., Шуть В.Н. Динамическая модель работы транспортной системы «ИНФОБУС» / Материалы научно-технической конференции «Искусственный интеллект. Интеллектуальные транспортные системы». Брест, Беларусь, 25-28 мая 2016 г. – Брест : «БрГТУ», 2016 – С. 49-54.

5. Шуть В.Н., Пролиско Е.Е. Высокопроизводительная система городской транспортировки пассажиров// Материалы VIII–ой украинско-польской научно-практичной конференции «Електроніка та інформаційні технології» – Львов, 27-30 августа 2016. – С. 62–64.
6. Persia L., Barnes J., Shuts V., Prolisko E., Kasjanik V., Kapskii D., Rakitski A. High capacity robotic urban cluster-pipeline passengers transport// Материалы Международной научно-технической конференции «Искусственный интеллект. Интеллектуальные транспортные системы (Be-Safe 2016)», посвященной 50-летию Брестского государственного технического университета, 25-28 мая 2016 г., Брест, 2016 – С. 62-68.
7. Проект Safe Road Trains for the Environment (SARTRE) – Режим доступа: http://en.wikipedia.org/wiki/Safe_Road_Trains_for_the_Environment

Literatura

1. Stoimost sooruzheniya 1 km metro v Minske sostavlyaet ot 40 do 60 mln dollarov [Elektronnyiy resurs]. – Rezhim dostupa: http://minsknews.by/blog/2014/08/19/stoimost-sooruzheniya-1-km-metro-v-minske-sostavlyaet-ot-40-do-60-mln-dollarov/
2. Shuts V., Kasyanik V. Mobile Autonomous robots – a new type of city public transport. // Transport and Telecommunication. – 2011. – V. 12, No 4. – P. 52-60.
3. Prolisko E.E., Shut V.N. Vyisokoproizvoditelnyiy vid gorodskogo passazhirskogo transporta na baze sovremennyih informatsionnyih tehnologiy / Sb. nauchn. trudov po mat. Mezhdunar. zaochnoy nauchno-praktich konf. «Aktualnyie napravleniya nauchnyih issledovaniy XXI veka: teoriya i praktika», Voronezh, 2016 g. – Voronezh : «VGLTU», 2016, t. 4, # 5, ch. 3 – S. 336-341.
4. Prolisko E.E., Shut V.N. Dinamicheskaya model rabotyi transportnoy sistemyi «INFOBUS» / Materialyi nauchno-tehnicheskoy konferentsii «Iskusstvennyiy intellekt. Intellektualnyie transportnyie sistemyi». Brest, Belarus, 25-28 maya 2016 g. – Brest : «BrGTU», 2016 – S. 49-54.
5. Shut V.N., Prolisko E.E. Vyisokoproizvoditelnaya sistema gorodskoy transportirovki passazhirov// Materialyi VIII–oy ukrainsko-polskoy nauchno-praktichnoy konferentsii «Elektronika ta informatsiyni tehnologiYi» – Lvov, 27-30 avgusta 2016. – S. 62–64.
6. Persia L., Barnes J., Shuts V., Prolisko E., Kasjanik V., Kapskii D., Rakitski A. High capacity robotic urban cluster-pipeline passengers transport// Materialyi Mezhdunarodnoy nauchno-tehnicheskoy konferentsii «Iskusstvennyiy intellekt. Intellektualnyie transportnyie sistemyi (Be-Safe 2016)», posvyaschennoy 50-letiyu Brestskogo gosudarstvennogo tehnicheskogo universiteta, 25-28 maya 2016 g., Brest, 2016 – S. 62-68.
7. Proekt Safe Road Trains for the Environment (SARTRE) – [Elektronnyiy resurs]. – Rezhim dostupa: http://en.wikipedia.org/wiki/Safe_Road_Trains_for_the_Environment

RESUME

V.N. Shuts

Robotic metro-slit type “Molehills”

The current state of information and communication technologies allows to build a cheap underground transport system (with a complete absence of a human) on the basis of mobile autonomous robots, with high productivity, achieving the performance of a modern metro, reliable and safe. It is an information system in which the vehicle is only an element of the system and can function only in its composition, unlike well-known vehicles such as bus, trolley, tram, subway train that operate autonomously. Metropolitan slit type "Moleholes" is a new type of urban transport. This is a fully automatic, intelligent robotic transportation system for urban transportation of passengers of a new type. Technical characteristics, which he possesses, are inaccessible to any kind of urban passenger transport, known to date.

Надійшла до редакції 21.03.2017

